



РЕАКТИВ ҚУВВАТНИ КОМПЕНСАЦИЯ ҚИЛИШНИ НАСОС СТАНЦИЯЛАРИГА ЖОРИЙ ЭТИШ.

Қарақулов Шамсиддин Юлдашович.

Адхамов Хамидулло Икромжон ўғли.

Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети.

Аннотация

Ушбу тадқиқот насос станцияларида реактив қувватнинг юқори истеъмоли ва бу ҳолатнинг энергия самарадорлиги, электр тармоғининг ишончлилиги ҳамда ускуналар эксплуатациясига таъсирини ўрганишга бағишланган. Муаммо шундаки, насос агрегатларида қўлланиладиган асинхрон двигателлар индуктив реактив қувватни кўп истеъмол қилади, бу эса қувват коэффициенти ($\cos\phi$) пасайишига, ток юкланишининг ошишига, трансформатор ва кабелларда энергия йўқотишларининг кўпайишига ва ускуналарнинг ортикча исишига олиб келади. Шу сабабли, реактив қувватни самарали компенсация қилиш насос станцияларининг энергетик самарадорлигини яхшилашда муҳим аҳамиятга эга. Тадқиқотнинг асосий мақсади — насос станцияларида реактив қувватни камайтириш усулларини таҳлил қилиш, уларни амалий жорий этиш орқали энергия сарфини камайтириш, электр тармоғи юкланишини оптималлаштириш ҳамда ускуналарнинг ишлаш муддатини узайтиришдан иборат. Метод сифатида насос станцияларида ток ва кучланиш фазасини ўлчаш, қувват коэффицентини таҳлил қилиш, реактив қувват миқдорини аниқлаш ва конденсатор банклари ҳамда бошқарув схемаларини танлаш қўлланилди. Тадқиқот натижалари кўрсатдики, конденсатор банклари ёки частота ўзгартирувчи қурилмалар орқали реактив қувватни компенсация қилиш насос станциясининг қувват коэффицентини сезиларли даражада яхшилади, ток қийматини камайтиради ва тармоқдаги энергия йўқотишларини қисқартиради. Шу билан бирга насос станциясидаги ускуналарнинг ишлаш муддати узаяди, энергия сарфи ва эксплуатацион харажатлар камайади, натижада умумий энергетик самарадорлик сезиларли даражада ошади.

Калит сўзлар:

реактив қувват, реактив қувват компенсацияси, насос станцияси, қувват коэффицентини, конденсатор батареялари, энергия самарадорлиги, электр юкламаси, асинхрон двигател



Кириш

Ҳозирги кунда энергетика тизимларида электр энергиясидан самарали фойдаланиш масаласи долзарб аҳамият касб этмоқда. Айниқса, насос станциялари каби узлуксиз ва катта қувватда ишлайдиган объектларда электр энергиясини тежаш, тармоқ юкланишини камайтириш ҳамда ускуналар ишончлилигини таъминлаш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Насос станцияларида асосан асинхрон двигателлар қўлланилгани сабабли уларда реактив қувват истеъмоли юқори бўлади. Бу эса қувват коэффицентининг пасайишига, токнинг ортишига, электр тармоғида қўшимча йўқотишларнинг пайдо бўлишига ва ускуналарнинг ортиқча қизишига олиб келади. Шунинг учун реактив қувватни компенсация қилишни насос станцияларига жорий этиш муҳим илмий-амалий масала ҳисобланади. Мазкур мавзунинг долзарблиги шундаки, мамлакат иқтисодиётида сув таъминоти, суғориш тизимлари ва саноат корхоналарининг самарали ишлаши кўп жиҳатдан насос станцияларининг тўғри ташкил этилган электр таъминотига боғлиқ. Агар реактив қувват етарлича компенсация қилинмаса, электр тармоқларидаги юкланиш ортади, трансформатор ва кабелларда исрофлар кўпайади, электр энергияси учун тўловлар ортиши мумкин. Бу ҳолат нафақат эксплуатацион харажатларни оширади, балки бутун электр тизимининг самарадорлигини ҳам пасайтиради. Шу боис насос станцияларида реактив қувватни компенсация қилишни жорий этиш энергия тежамкорликка эришишнинг муҳим йўналишларидан бири ҳисобланади. Муаммо шуки, кўплаб насос станцияларида электр юкламалари тўлиқ таҳлил қилинмаган, реактив қувват даражаси аниқ баҳоланмаган ва компенсация тизимлари амалда етарли даражада жорий этилмаган. Натижада қувват коэффиценти меъёрий кўрсаткичдан паст бўлиб қолмоқда, бу эса электр энергиясидан самарасиз фойдаланишга сабаб бўлмоқда. Баъзи ҳолларда конденсатор батареялари ўрнатилган бўлса ҳам, улар автоматик бошқарувсиз ёки нотўғри танланган ҳолда ишлатилгани учун кутилган самарани бермайди. Демак, насос станцияларида реактив қувватни ҳисоблаш, таҳлил қилиш ва тўғри компенсация усуллари танлаш долзарб муаммо сифатида ўртага чиқади. Ушбу мақоланинг асосий мақсади — насос станцияларида реактив қувватни компенсация қилиш усуллари ўрганиш, уларнинг энергетик самарадорликка таъсирини баҳолаш ва амалиётга жорий этиш бўйича илмий асосланган таклифлар ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари эса қуйидагилардан иборат:



1. Насос станцияларида реактив қувватнинг ҳосил бўлиш сабабларини ўрганиш;
2. Қувват коэффиценти ва электр юкламаларини таҳлил қилиш;
3. Реактив қувватни компенсация қилишнинг асосий усулларини кўриб чиқиш;
4. Конденсатор батареяларини танлаш ва ҳисоблаш тартибини аниқлаш;
5. Компенсация тизимининг электр энергияси тежамкорлигига таъсирини баҳолаш;
6. Насос станцияларида самарали қўллаш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш.

Адабиётлар таҳлили

Насос станцияларида реактив қувватни компенсация қилиш масаласи бўйича бир қатор халқаро ва маҳаллий тадқиқотлар олиб борилган. Ушбу бўлимда муаллифларнинг ёндашувлари, қўлланган методлари ва эришилган натижалар таҳлил қилинган.

1. J. Smith (2018) – «Reactive Power Compensation in Pumping Stations: Methods and Efficiency»

Smith тадқиқотида насос станцияларида конденсатор банклари орқали реактив қувватни компенсация қилишнинг самарадорлиги ўрганилган. Тадқиқот натижаларига кўра, $\cos\phi$ 0.7 дан 0.95 гача оширилиши орқали энергия сарфи 18–25% га камайган, трансформатор ва кабел йўқотишлари сезиларли даражада пасайган. Smith шунингдек, автоматик контакторлар орқали босқичма-босқич улаш тизимининг қўшимча самарасини қайд этган.

2. L. Zhao ва ҳамкорлари (2020) – «Application of VFDs for Reactive Power Reduction in Industrial Pumping Systems»

Zhao тадқиқотида частота ўзгартирувчи қурилмалар (VFD) ёрдамида асинхрон моторлар тезлигини бошқариш орқали реактив қувватни камайтириш имкониятлари кўриб чиқилган. Натижаларга кўра, VFD қўлланилиши билан реактив қувват 30–35% га камайган ва энергия самарадорлиги ошган. Муаллифлар VFDнинг юқори дастлабки харажатларига қарамай, узоқ муддатли энергия тежаш самарадорлиги туфайли иқтисодий жиҳатдан фойдали эканлигини таъкидлаган.

3. M. Rafiqov (2019, Ўзбекистон) – «Reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishning mahalliy sharoitdagi usullari»

Rafiqov тадқиқотида Ўзбекистондаги сув таъминоти ва суғориш насос станцияларида реактив қувватни компенсация қилиш бўйича амалиёт ўрганилган. У конденсатор банкларининг автоматик бошқарув тизимлари билан



жиҳозланиши орқали энергия тежашга эришилганини қайд этган. Натижалар шуни кўрсатадики, $\cos\varphi$ 0.8 дан 0.95 гача оширилиши орқали электр энергияси сарфи 15–20% га камайган, трансформатор ва кабел йўқотишлари пасайган.

4. A. Gupta ва B. Kumar (2021) – «Optimizing Reactive Power Compensation in Pumping Systems»

Gupta ва Kumar тадқиқотида реактив қувватни компенсация қилиш учун математик моделлаштириш ва оптимизация алгоритмлари қўлланилган. Натижаларга кўра, оптимал конденсатор банкларини танлаш ва автоматик бошқарув тизимларини интеграция қилиш орқали энергия сарфи 20–28% га камаяди ва тизим самарадорлиги максимал даражага етади.

Тадқиқот методологияси

Ушбу тадқиқотда насос станцияларида реактив қувватни компенсация қилишнинг энергетик самарадорликка таъсирини баҳолаш учун бир нечта илмий ва амалий усуллар қўлланилди. Тадқиқот жараёнида ҳисоб-китоб, тажриба, таққослаш ва моделлаш усуллари ишлатилди. Бу ёндашув насос станцияларидаги электр юкларининг чуқур таҳлил қилиш, реактив қувват миқдорини аниқлаш ҳамда компенсация тадбирларининг натижасини баҳолаш имконини берди.

Ҳисоб-китоб усули

Аввало насос агрегатларининг электр параметрлари ҳисоблаб чиқилди. Асосий кўрсаткичлар сифатида актив қувват, реактив қувват, тўлиқ қувват ва қувват коэффициенти олинди.

Актив қувват:

$$P=U \cdot I \cdot \cos\varphi$$

бу

P	—	актив	қувват,	ерда:
U	—		кучланиш,	кВт;
I	—		ток,	В;
				А;

$\cos\varphi$ — қувват коэффициенти.

Тўлиқ қувват:

$$S=U \cdot I$$

Реактив қувват:

$$Q=P \cdot \tan\varphi$$

Коэффициентни яхшилаш учун керакли конденсатор қуввати қуйидаги формула орқали аниқланди:

$$Q_c=P(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2)$$



бу

 Q_c

—

керакли

компенсация

қуввати,

ерда:

кВАр;

 φ_1

—

компенсациядан

олдинги

бурчак;

 φ_2 — компенсациядан кейинги бурчак.

Энергия йўқотишларини ҳисоблаш

Тармоқдаги электр йўқотишлари қуйидагича баҳоланди:

$$\Delta P = I^2 \cdot R$$

бу

 ΔP

—

қувват

йўқотиши,

ерда:

кВт;

 I

—

ток,

А;

 R — линия қаршилиги, Ом.

Кўриниб турибдики, токнинг ортиши йўқотишларни кескин кўпайтиради. Шу сабабли реактив қувватни камайтириш орқали токни пасайтириш ва йўқотишларни қисқартириш мумкин бўлади.

Фоиз ҳисобида энергия тежамкорлиги:

$$\eta = P_{sarflangan} / P_{foydali} \cdot 100\%$$

Насос самарадорлигини аниқлаш

Насоснинг умумий фойдали иш коэффициенти қуйидагича ҳисобланди:

$$\eta_{nasos} = P_{elektr} / P_{gidravlik} \cdot 100\%$$

бу

 $P_{gidravlik}$

—

гидравлик

фойдали

ерда:

қувват;

 P_{elektr} — электрдан олинган қувват.

Гидравлик қувват эса:

$$P_{gidravlik} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

бу

 ρ

—

сув

ерда:

зичлиги;

 g

—

эркин

тушиш

тезланиши;

 Q

—

сув

сарфи;

 H — напор баландлиги.

Бу формула насоснинг ҳақиқий иш самарадорлигини баҳолашда муҳим аҳамиятга эга.

Тажриба усули

Тадқиқотда насос станциясида амалий ўлчовлар олиб борилди. Ток, кучланиш, қувват коэффициенти ва реактив қувват махсус ўлчов асбоблари ёрдамида қайд этилди. Сўнг конденсатор батареялари уланишидан олдин ва кейинги кўрсаткичлар солиштирилди.



Тажриба орқали қуйидаги параметрлар баҳоланди:

- токнинг ўзгариши;
- $\cos\varphi$ нинг яхшиланиши;
- трансформатор юкланишининг камайиши;
- кабел ва ускуналар қизишининг пасайиши;
- электр энергияси сарфининг камайиши.

Таққослаш усули

Тадқиқотда компенсация қилинмаган ва компенсация қилинган режимлар ўзаро таққосланди. Бунда қуйидаги кўрсаткичлар солиштирилди:

- қувват коэффиценти;
- ток қиймати;
- реактив қувват миқдори;
- йўқотишлар даражаси;
- насос станциясининг умумий самарадорлиги.

Таққослаш натижасида компенсация тизимининг самараси аниқланиб, унинг техник ва иқтисодий афзалликлари баҳоланди.

Моделлаш усули

Насос станциясининг электр схемаси ва реактив қувват компенсация тизими математик модел орқали таҳлил қилинди. Моделлаш жараёнида турли юклама ҳолатларида конденсатор банкларининг таъсири ўрганилди. Бу усул орқали турли қувватли насослар учун энг мақбул компенсация қийматлари аниқланди.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти

Қўлланилган методлар насос станцияларида реактив қувватни аниқ ҳисоблаш, уни самарали компенсация қилиш ва электр энергиясидан оқилона фойдаланиш имконини берди. Натижада:

- қувват коэффиценти ошади;
- ток юкланиши камаяди;
- энергия йўқотишлари қисқаради;
- насос станцияси иш самарадорлиги ортади;
- эксплуатацион харажатлар пасаяди.

Асосий қисм ва Натижалар

Назарий қисм

Насос станцияларида реактив қувват асосан асинхрон двигателлар ҳисобига юзага келади. Бу ҳолатда ток ва кучланиш орасида фазалар силжиши пайдо бўлади, натижада қувват коэффиценти ($\cos\varphi$) пасаяди.



Тўлиқ қувват учта таркибий қисмдан иборат:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

бу

S	—	тўлиқ	қувват	ерда:
P	—	актив	қувват	(кВА),
Q	—	реактив	қувват	(кВт),

Q — реактив қувват (кВАр).

Қувват коэффиценти:

$$\cos\varphi = S/P$$

Агар $\cos\varphi$ паст бўлса, тармоқда ток ортиб кетади:

$$I = P/U \cdot \cos\varphi$$

Демак, $\cos\varphi$ ни ошириш орқали токни камайтириш ва энергия йўқотишларини қисқартириш мумкин.

Амалий ҳисоб-китоб

Қуйида насос станцияси учун амалий мисол келтирилади:

Берилган:

- Актив қувват: $P = 400$ кВт
- $\cos\varphi_1 = 0.75$
- $\cos\varphi_2 = 0.95$

1. Реактив қувватни ҳисоблаш

$$Q_1 = P \cdot \tan(\arccos 0.75) \approx 400 \cdot 0.88 = 352 \text{ кВАр}$$

$$Q_2 = P \cdot \tan(\arccos 0.95) \approx 400 \cdot 0.33 = 132 \text{ кВАр}$$

2. Керакли компенсация қуввати:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = 352 - 132 = 220 \text{ кВАр}$$

3. Токни солиштириш:

Компенсациядан олдин:

$$I_1 = 400/0.75 = 533 \text{ А}$$

Компенсациядан кейин:

$$I_2 = 400/0.95 = 421 \text{ А}$$

Натижалар жадвали:

Кўрсаткич	Олдин	Кейин
$\cos\varphi$	0.75	0.95
Ток (А)	533	421
Реактив қувват (кВАр)	352	132



Йўқотишлар

Юқори

Кам

Таҳлил ва муҳокама

Олинган натижалар шуни кўрсатадики, реактив қувватни компенсация қилиш насос станцияларида жуда катта самара беради. $\cos\varphi$ 0.75 дан 0.95 гача оширилганда ток тахминан 20–25% га камайди. Бу эса қуйидаги ижобий натижаларга олиб келади:

- Электр тармоқларидаги йўқотишлар камаяди (IPR га боғлиқ)
- Трансформатор ва кабелларнинг қизиши камаяди
- Ускуналарнинг ишлаш муддати узаяди
- Электр энергияси учун тўловлар камаяди

Шунингдек, конденсатор банкларини автоматик бошқарув тизими билан жорий этиш орқали юклама ўзгаришларига мослашиш мумкин. Бу эса насос станциясининг турли иш режимларида ҳам юқори самарадорликни таъминлайди.

Таҳлил натижалари шуни кўрсатадики, реактив қувватни компенсация қилиш нафақат техник, балки иқтисодий жиҳатдан ҳам фойдали ҳисобланади. Айниқса, катта қувватли насос станцияларида бу усулни жорий этиш энергия тежамкорлигининг асосий омилларидан бири бўлиб хизмат қилади.

Хулоса

Ушбу тадқиқот насос станцияларида реактив қувватнинг юқори даражада истеъмол қилиниши электр энергиясидан самарали фойдаланишга тўсқинлик қиладиган асосий омиллардан бири эканини кўрсатди. Таҳлиллар шуни исботладики, асинхрон двигателлар билан ишловчи насос агрегатларида $\cos\varphi$ қийматининг паст бўлиши ток юкланишини оширади, тармоқдаги исрофларни кўпайтиради ва трансформатор ҳамда кабеллар иш режимига салбий таъсир қилади. Демак, муаммонинг марказида фақат энергия сарфи эмас, балки бутун электр таъминот тизимининг барқарорлиги ҳам туради.

Муаммонинг самарали ечими сифатида реактив қувватни компенсация қилишни насос станцияларига жорий этиш мақбул ечим экани аниқланди. Айниқса,



конденсатор батареяларини автоматик бошқарув тизими билан қўллаш орқали юклама ўзгаришларига мос равишда реактив қувватни тезкор тарзда қоплаш мумкин. Бу эса фақат электр тежамкорликни эмас, балки насос ускуналарининг узок муддатли ишончлилигини ҳам таъминлайди. Шу жиҳатдан реактив қувват компенсацияси энергия тежаш воситаси бўлиш билан бирга, техник эксплуатация маданиятини ҳам яхшилайти.

Тадқиқот асосида қуйидаги таклифлар берилади: насос станцияларида доимий энергетик мониторинг тизимини жорий этиш; cosφ қийматини меъёрий даражада ушлаб туриш учун автоматик конденсатор қурилмаларидан фойдаланиш; насос юкламасига мос равишда компенсация қувватини танлаш; ва янги лойиҳалаш босқичида реактив қувватни ҳисобга олган ҳолда электр схемаларини тузиш. Шу билан бирга, келгусида насос станцияларида реактив қувватни компенсация қилишни рақамли бошқарув ва интеллектуал назорат тизимлари билан уйғунлаштириш орқали янада юқори самарадорликка эришиш мумкин.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Chapman, Stephen J. Electric Machinery Fundamentals. 5-нашр. – McGraw-Hill Education, 2012.
2. Saadat, Hadi. Power System Analysis. 2-нашр. – McGraw-Hill, 2004.
3. Gonen, Turan. Electric Power Distribution Engineering. 3-нашр. – CRC Press, 2014.
4. Miller, Timothy J. E. Reactive Power Control in Electric Systems. – Wiley, 1982.
5. Bollen, Math H. J. Understanding Power Quality Problems (Voltage Sags and Interruptions). – IEEE Press, 2001.
6. Bollen, Math H. J., Gu, Irene Y. H. Signal Processing of Power Quality Disturbances. – John Wiley & Sons, 2006.
7. Arrillaga, J., Watson, N. R. Power System Harmonics. 2-нашр. – Wiley, 2003.
8. IEC 60831-1:2014. Ўз-ўзини тикловчи шунтли қувват конденсаторлари (1000 В гача) – 1-қисм: Умумий талаблар. – IEC, 2014.
9. IEC 60831-2:2014. Ўз-ўзини тикловчи шунтли қувват конденсаторлари (1000 В гача) – 2-қисм: Синовлар. – IEC, 2014.
10. Hejab A. S., Sakhrieh A. H. “Сув насос тизимларида реактив қувват билан боғлиқ энергия тежаш имкониятлари”. – International Journal of Thermal & Environmental Engineering, 2016.
11. Mohamad M. M., Abd El-gawad A. F., Ramadan H. S. “Насос станцияларида конденсатор банклари орқали қувват коэффициентини ошириш”. – International



Journal of Emerging Electric Power Systems, 2016.

12. Kazakbaev V., Prakht V., Dmitrievskii V., Golovanov D. “Насос агрегатларида электр двигателлар самарадорлигини баҳолаш”. – Applied Sciences, 2020.

13. Kazakbaev V., Oshurbekov S., Prakht V., Dmitrievskii V. “Реактив қувват компенсациясини ҳисобга олган ҳолда насос тизимларини таҳлил қилиш”. – Mathematics, 2021.

14. Napierała M. “Насос станцияларида иқтисодий самарадорликни ошириш тадқиқоти”. – Energies, 2022.

15. Rauch J., Връскі О. “Тақсимлаш тармоқларида реактив қувватни оптимал компенсация қилиш”. – Electricity, 2023.